

Rancang Bangun Sistem Monitoring Proses Produksi Bioetanol Berbasis ESP8266 dan ESP32 SoC

Author:

Nuzula Afianah¹
Qanitah²
Siti Diah Ayu Febriani³
Yuana Susmiati⁴

Affiliation:

Politeknik Negeri
Jember^{1,2,3,4}

Corresponding email:

nuzula.afianah@polije.ac.id

Histori Naskah:

Submit: 2025-05-28
Accepted: 2025-07-12
Published: 2025-07-15



This is an Creative Commons
License This work is licensed
under a Creative Commons
Attribution-NonCommercial 4.0
International License

Abstrak:

Peningkatan kebutuhan akan energi terbarukan mendorong pengembangan bioetanol sebagai bahan bakar alternatif pengganti maupun campuran bahan bakar fosil memiliki prospek tinggi di masa depan. Didorong oleh tingginya prospek tersebut, produksi bioetanol mulai banyak dilakukan. Namun, proses produksi bioetanol cenderung kompleks, yaitu meliputi proses fermentasi dan distilasi yang membutuhkan pengawasan intens dan ketat. Pengawasan kedua proses tersebut terdiri dari parameter-parameter penting yang harus diperhatikan seperti suhu, pH dan kadar etanol sebagai data time series yang diambil sewaktu-waktu dan terus menerus. Pentingnya kebutuhan monitoring atau pengawasan ini menentukan kualitas dan keberhasilan proses produksi bioetanol dari bahan-bahan biomassa, dalam hal ini menggunakan nira tebu yang difermentasi dan didistilasi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring proses produksi bioetanol berbasis mikrokontroler ESP8266 dan ESP32 SoC. Penerapan kedua modul mikro tersebut dijalankan secara hibrid dengan komunikasi HTTP untuk luaran data logger pada *cloud service*. Sistem ini menggunakan sensor suhu DS18B20, sensor pH dan sensor gas etanol MQ3 yang diprogram menggunakan Arduino IDE. Metode pengembangan yang digunakan adalah waterfall. Beberapa tahapan yang dilakukan diantaranya adalah analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian perangkat keras dan perangkat lunak serta perawatan sistem. Hasil implementasi menunjukkan keberhasilan dan capaian yang memuaskan dari analisis kinerja sensor-sensor yang digunakan. sistem mampu memantau paramater dengan galat rendah, <1% pada suhu, <10% pada pH, serta mampu mendeteksi kadar alkohol hingga 96% dari bioetanol yang dihasilkan.

Kata kunci: Bioetanol; Fermentasi; ESP32; Sistem Monitoring; SoC

Pendahuluan

Krisis energi global penggunaan bahan bakar fosil telah mendorong pengembangan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Krisis tersebut juga meningkatkan kebutuhan akan energi terbarukan seiring dengan menipisnya cadangan bahan bakar fosil dan meningkatkan kesadaran akan dampak lingkungan dari penggunaannya (Hendraloka dkk., 2022). Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki prospek tinggi untuk dikembangkan adalah bioetanol (Pranata dkk., 2023). Bioetanol merupakan etanol yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan nabati atau organik seperti tebu, jagung, singkong, dan limbah pertanian lainnya (Bachtiar dkk., 2021). Bioetanol digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan, baik penggunaan secara murni maupun menjadi campuran bensin (Monasari dkk., 2021) atau pertalite (Purnama dkk., 2023), misalnya E10 yang artinya kadar etanol sebesar 10% dan kadar bensin sebesar 90%. Bioetanol juga mampu mengurangi emisi gas rumah kaca (Rifa'i dkk., 2022) serta mendukung upaya pelestarian lingkungan yang mengarah pada pengembangan program *net zero emission* demi masa depan berkelanjutan.

Bioetanol adalah bahan bakar alternatif etanol (C_2H_5OH) yang diperoleh dari bahan organik (*biomassa*) melalui proses fermentasi dan distilasi. Bioetanol umumnya banyak digunakan sebagai bahan bakar nabati (*biofuel*) pengganti bensin (Adharani dkk., 2023). Proses produksi bioetanol merupakan suatu rangkaian kegiatan biokimia yang kompleks, yang mencakup beberapa tahap penting mulai dari fermentasi hingga distilasi (Anggita dkk., 2021). Tahap pertama sistem produksi bioetanol adalah *pretreatment* (pra-pengolahan) yang diperlukan untuk memecah struktur kompleks menjadi senyawa yang lebih mudah difermentasi, seperti glukosa pada bahan lignoselulosa. Metode *pretreatment* bisa berupa proses fisik (penggilingan), kimia dengan penggunaan asam atau basa maupun biolis menggunakan enzim. Selanjutnya proses hidrolisis yang memecah polisakarida (pati atau selulosa) menjadi struktur gula sederhana (glukosa, fruktosa) menggunakan bantuan enzim (amilase, selulase) atau asam. Gula sederhana hasil hidrolisis kemudian difermentasi menjadi etanol oleh mikroorganisme menggunakan bahan baku ragi (*saccharomyces cerevisiae*) yang berlangsung dalam kondisi anaerob (tanpa oksigen) dan perlu dikontrol serta dimonitoring parameternya, seperti suhu, pH, dan waktu. Etanol hasil fermentasi umumnya berkisar antara 8-12% dari volume awal. Proses distilasi digunakan untuk memisahkan etanol dari air dan senyawa lain sehingga mampu dihasilkan kadar sebesar 95-99% yang diharapkan. Kompleksitas proses produksi tersebut membutuhkan pengendalian dan pengawasan yang ketat terhadap parameter penting, yaitu suhu, pH, waktu dan kadar alkohol yang dihasilkan. Hal tersebut dikarenakan kondisi fermentasi yang tidak optimal dapat menurunkan efisiensi serta kualitas bioetanol yang dihasilkan. Selain itu, sistem monitoring konvensional masih banyak dilakukan secara manual, yang kerap kali rawan terhadap kesalahan pengukuran, evaluasi dan pengambilan keputusan serta pengamatan visual manusia sehingga hasil bersifat subjektif, kurang akurat serta memakan waktu dan tenaga.

Seiring dengan kemajuan teknologi digital dan otomasi, penerapan konsep *Internet of Things* (IoT) dalam beberapa sektor kehidupan menawarkan solusi yang efektif untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi proses monitoring (Syaputra & Sutabri, 2024). Salah satu perangkat keras (*hardware*) yang dapat diimplementasikan untuk mendukung pengembangan sistem IoT terintegrasi dengan *cloud database* adalah ESP32 *System on Chip* (SoC) (Afianah dkk., 2024). ESP32 dan ESP8266 merupakan mikrokontroler dengan kemampuan mini komputasi yang handal disertai konektivitas jarak jauh yang mumpuni baik via Wi-Fi maupun bluetooth, yang memiliki performa pemrosesan data yang cukup tinggi untuk menjalankan tugas dan fungsi *monitoring* sistem secara *real-time*.

Studi Literatur

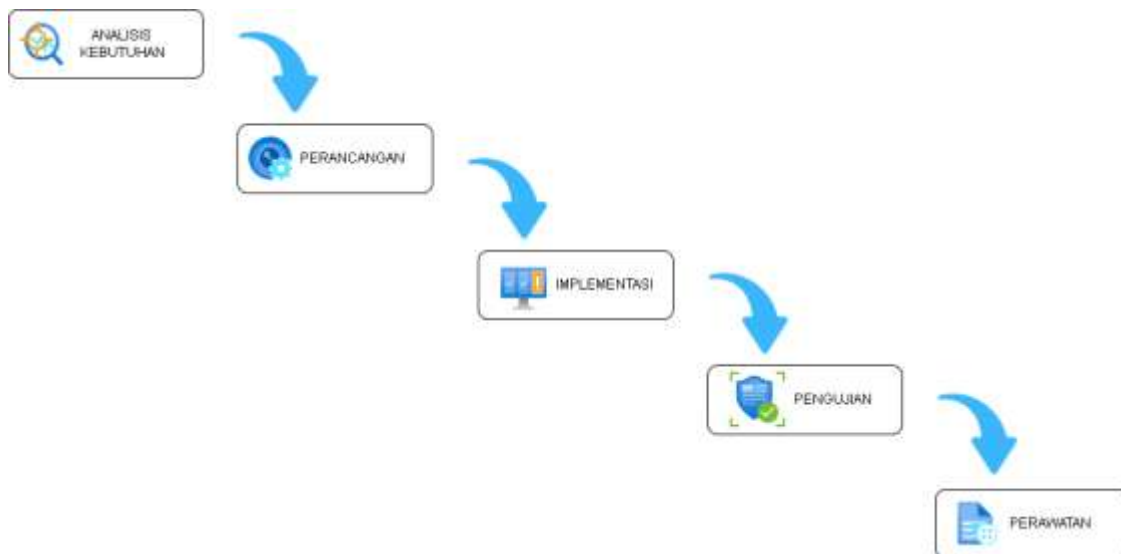
Produksi bioetanol berbahan baku biomassa sebagai bahan pangan berkarbohidrat tinggi, seperti tebu, jagung atau singkong, melibatkan proses fermentasi anaerobik yang dikendalikan oleh mikroorganisme (*saccharomyces cerevisiae*) untuk menghasilkan etanol. Dalam tahap fermentasi ini, parameter suhu dan pH sangat menentukan laju dan efektivitas konversi gula menjadi senyawa etanol (Febriani dkk., 2025). Suhu optimal yang dibutuhkan dalam proses fermentasi berkisar antara 28- 32°C, sedangkan skala pH antara 4- 5 (Susmiati, 2018). Keberhasilan proses produksi didukung dengan indikasi kadar alkohol yang dideteksi menggunakan sensor gas etanol (MQ3).

Salah satu tahapan penting dalam proses produksi bioetanol adalah proses fermentasi. Selama proses fermentasi sebaiknya dimonitoring secara berkala untuk mengetahui pH dan suhu larutan. Sistem monitoring fermentasi berbasis IoT telah diterapkan pada proses pembuatan tape menggunakan mikrokontroler ESP8266 yang memproses input sensor berupa data suhu dari DHT11, sensor gas etanol dari MQ3 dan LCD 16x2 sebagai output sistem. Akurasi penggunaan sensor DHT11 cukup baik, dengan selisih pembacaan kurang dari 1°C dan kadar alkohol yang dihasilkan sebesar 1-2% dengan rentang pembacaan nilai ADC sebesar 404 – 590 (Agustin, 2020). Selain itu terdapat proses hidrolisis yang terjadi sebelum proses fermentasi yang perlu diperhatikan. Desain sistem kendali pengaduk pada proses hidrolisis pembuatan bioetanol G2 menggunakan pilot plant berbasis PLC Mitsubishi FX-Series (FX3U)

menunjukkan hasil yang memuaskan dengan error sebesar 0,73%, sedangkan sistem pemantauan menggunakan HMI Haiwell Cloud SCADA untuk informasi input frekuensi, output kecepatan putar motor, daya aktif dan total konsumsi daya yang digunakan (Muzayin dkk., 2023). Penyulingan larutan dilakukan untuk memisahkan larutan senyawa dari hasil fermentasi yang disebut dengan distilasi perlu memperhatikan suhu optimal. Implementasi sistem kendali suhu pada proses distilasi bioetanol dari kulit pisang menggunakan mikrokontroler Arduino UNO, disertai pembacaan suhu menggunakan DS18B20 dan pembacaan MQ3. Sistem kendali histeresis pengatur suhu memiliki overshoot suhu sebesar 81°C pada suhu yang diatur pada 75 - 80°C selama 14 menit, sedangkan error pembacaan suhu sebesar 2,39% dan 3% pada pembacaan kadar alkohol menggunakan MQ3 (Bahriawan dkk., 2024). Kenaikan kadar alkohol yang dihasilkan dari proses fermentasi dan distilasi perlu dimonitoring secara realtime, konsisten dan berkelanjutan. Pemanfaatan MQ3 sebagai e-nose pada pembacaan upa molasses yang dihasilkan dari hasil distilasi dari waktu ke waktu menunjukkan adanya peningkatan kadar alkohol dari sensor MQ3 yaitu dari 348 ADC ke 892 ADC pada suhu 25°C yang terbaca oleh sensor MAX6675 K-Type Thermocouple (Angraini dkk., 2021).

Metode Penelitian

Metode penelitian dalam merancang bangun alat yang berfungsi sebagai sistem monitoring proses produksi bioetanol diperlihatkan pada Gambar 1. Tahapan proses atau kegiatan pada kegiatan ini disusun secara sistematis dan terarah dengan menerapkan metode pengembangan *software* dan *hardware* berupa metode waterfall. Dalam mengembangkan sistem monitoring proses produksi bioetanol berbasis IoT dengan menggunakan mikrokontroler ESP8266 dan ESP32 SoC memiliki siklus hidup (*life cycle*) yang disesuaikan dengan metode pengembangan *software* dan *hardware* yang relevan. Dalam hal ini metode pengembangan waterfall telah memenuhi standar proses dari serangkaian tahapan pada saat merancang bangun alat tersebut.



Gambar 1. Metode Pengembangan Sistem Menggunakan *Waterfall Model*

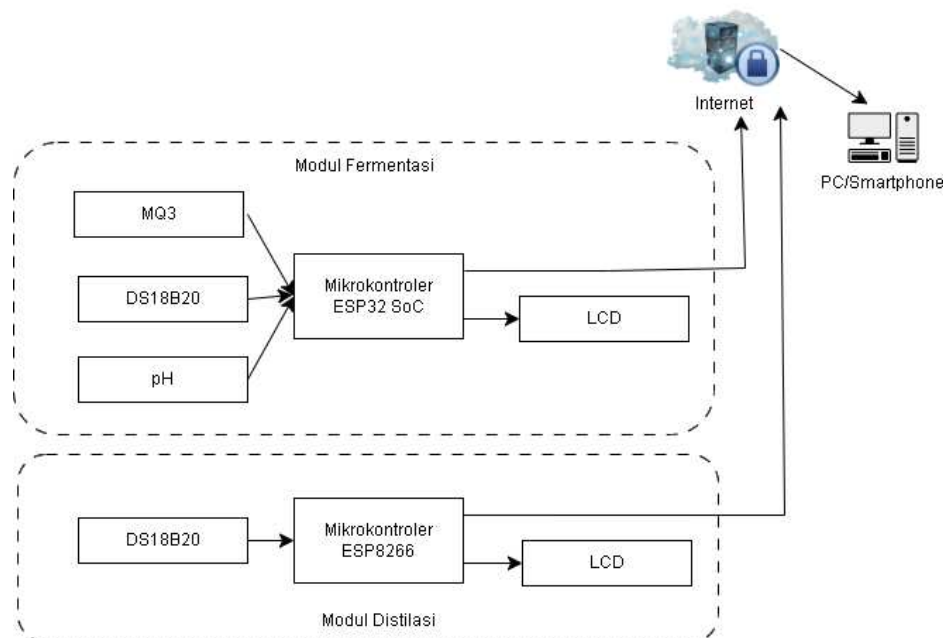
Dimulai dengan analisis permasalahan akan kebutuhan pengguna, yaitu sistem monitoring proses fermentasi dan distilasi yang terdapat pada proses produksi bioetanol menggunakan bahan baku air nira. Analisis kebutuhan sistem berfungsi untuk mengidentifikasi, mendefinisikan dan mencatat kebutuhan-kebutuhan yang harus dipenuhi oleh sistem untuk menjawab dan memberikan solusi berdasarkan tujuan yang diinginkan. Tahapan ini diperlukan untuk mengumpulkan informasi yang lengkap dan akurat dari pengguna, pemangku kepentingan atau pihak lain yang terlibat. Penentuan kebutuhan fungsional berupa

kebutuhan alat pemantau atau biasa disebut sistem monitoring jarak jauh secara terdigitalisasi sangat dibutuhkan untuk menjawab permasalahan terkait pencatatan manual dan diharapkan lebih objektif. Terdapat beberapa kebutuhan fungsional pada sistem monitoring tersebut sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Kebutuhan Fungsional Sistem

Komponen	Jumlah (Unit)	Keterangan
ESP32 SoC	1	Modul Sistem Fermentasi
ESP8266	1	Modul Sistem Distilasi
DS18B20	2	Modul Sistem Fermentasi dan Distilasi
Sensor MQ3	1	Modul Sistem Fermentasi
Liquid Crystal Display (LCD)	2	Modul Sistem Fermentasi dan Distilasi
Sensor pH	1	Modul Sistem Fermentasi

Hasil analisis kebutuhan tersebut menjadi dasar yang kuat untuk proses-proses selanjutnya, yaitu perancangan, pengembangan dan pengujian sistem. Perancangan sistem meliputi perancangan hardware dan software yang dapat dilakukan secara paralel maupun sekuensial. Proses perancangan hardware dilakukan dengan pembuatan desain alat termasuk diagram blok sistem, arsitektur sistem dan *wiring diagram* atau skematik rangkaian. Diagram blok sistem monitoring produksi bioetanol dapat dilihat pada Gambar 2.

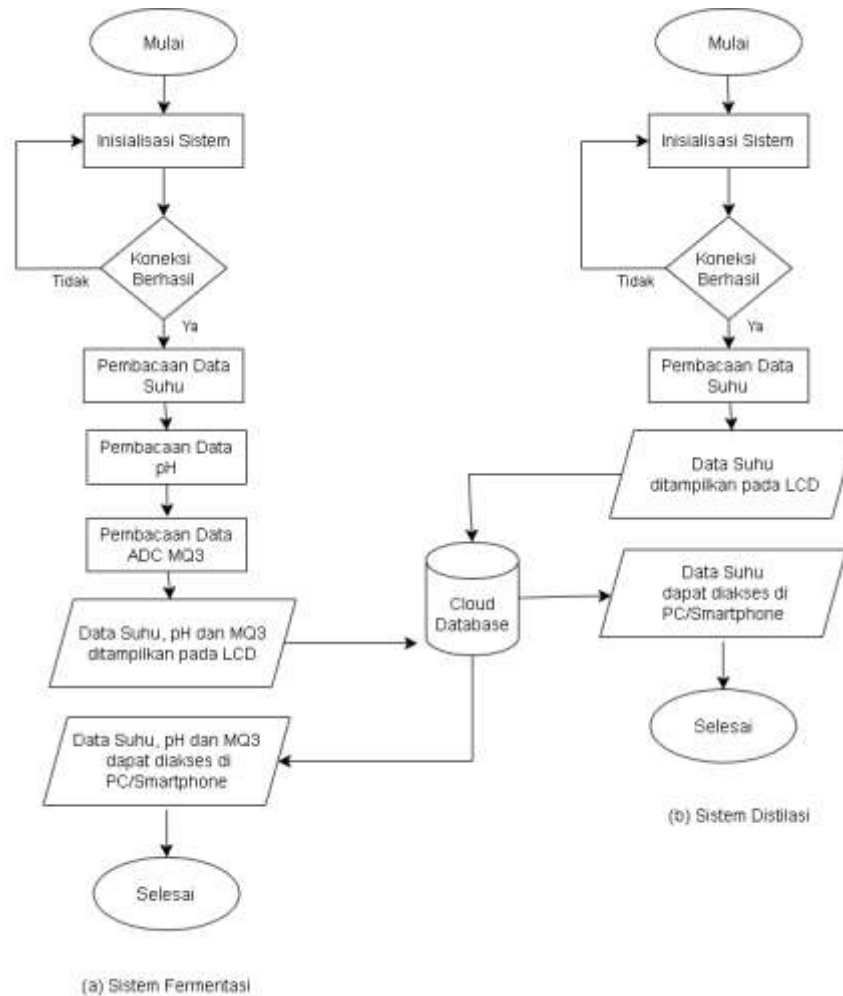


Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Sistem fermentasi termonitor menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan dan pengolahan data dari sensor suhu DS18B20, sensor pH dan sensor gas etanol MQ3. Selanjutnya data dari masing-masing sensor akan ditampilkan pada layar LCD pada modul sistem fermentasi. Sedangkan pada modul distilasi menggunakan ESP8266 sebagai unit pemrosesan dengan task atau tugas lebih ringan yaitu pembacaan data sensor suhu yang terdapat pada modul sistem distilasi.

Perancangan software menggunakan software Arduino IDE untuk memprogram alat agar berjalan sesuai dengan tujuan yang diinginkan. Perancangan software diawali dengan perancangan diagram alir atau

flowchart sistem secara keseluruhan. Baik sistem fermentasi maupun sistem distilasi memiliki threshold masing-masing sesuai dengan kebutuhan yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Sistem

Pengujian sistem meliputi pengujian sensor suhu DS18B20, sensor pH dan sensor MQ3. Hasil pengukuran pembacaan sensor perlu dianalisis dengan mencari selisih dan error pengukuran masing-masing komponen elektroniknya. Error pengukuran diperoleh dari :

$$\varepsilon_R = \left| \frac{\varepsilon}{a} \right| \times 100\% \quad (1)$$

dan

$$\varepsilon = \alpha - \acute{\alpha} \quad (2)$$

Dimana

ε_R = Error Relatif (%)

ε = Galat atau Error

α = Nilai pengukuran

$\acute{\alpha}$ = Nilai aktual

Hasil

Hasil perancangan alat sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4 yang merupakan bentuk fisik alat dari sistem monitoring proses produksi bioetanol berbasis mikrokontroler. Alat tersebut diimplementasikan pada proses fermentasi dan distilasi. Tampak pada gambar hasil perakitan komponen dalam modul (box) dengan pemasangan semua komponen sensor yang dibutuhkan, diantaranya yaitu sensor suhu, sensor pH dan sensor DS18B20.



Gambar 4. Implementasi Sistem

Hasil implementasi sistem perlu dilakukan pengujian sebagai analisis kinerja sensor berdasarkan data pengukuran nilai yang diperoleh dari pembacaan sensor baik di LCD maupun di PC yang merupakan nilai taksiran dari sistem monitoring proses produksi dengan nilai aktual dari kalibrator yang terstandar. Tabel 2 menyajikan data pengujian sensor suhu DS18B20 yang diambil pada 13 Agustus 2024.

Tabel 2 Pengujian Data Sensor DS18B20

Pengujian ke-(n)	Data Sensor DS18B20 (α)	Pengukuran Termometer (a)	Data Pengukuran Termometer (a)	Selisih ($^{\circ}\text{C}$) (ϵ)	Persentase Error (%) (ϵ_R)
1	29,63	29.50	29.50	0.13	0.44
2	29.56	29.50	29.50	0.06	0.20
3	29.50	29.50	29.50	0	0
4	29.44	29.50	29.50	0.06	0.20
5	29.37	29.50	29.50	0.13	0.44

Pengujian data sensor pH dilakukan pada tanggal dan waktu yang sama, menghasilkan nilai pembacaan di rentang 5.65 – 6.02, sedangkan nilai kertas lakmus yang telah dicelupkan ke larutan berkisar 5.5 dari hasil pengamatan visual pada warna yang dihasilkan seperti pada Tabel 3.

Pengujian ke-(n)	Data Pengukuran Sensor pH (α)	Data Pengukuran Kertas Lakmus Universal (a)	Data Pengukuran pH Kertas Lakmus Universal (a)	Selisih ($^{\circ}\text{C}$) (ϵ)	Persentase Error (%) (ϵ_R)
1	5.67	5.5	5.5	0.17	3.09
2	5.65	5.5	5.5	0.15	2.73
3	5.85	5.5	5.5	0.35	6.36
4	5.61	5.5	5.5	0.11	2
5	6.02	5.5	5.5	0.52	9.45

Tabel 3 Pengujian Data Sensor pH

Hasil pengujian data sensor MQ3 sebagai detektor gas yang memiliki sensitivitas cukup tinggi terhadap senyawa alkohol dapat dilihat pada Tabel 4. Pengambilan data sampel yang tersaji diambil dari sejumlah data yang dihasilkan pada awal (*pretreatment*) hingga proses distilasi atau ketika menghasilkan tetes-tetes bioetanol. Terdapat kategori fermentasi yaitu kondisi fermentasi aktif dan fermentasi tidak aktif yang diindikasikan oleh perkiraan kadar alkohol yang terbaca oleh *e-nose* atau sensor digital berupa MQ3.

Tabel 4 Pengujian Data Sensor MQ3

Pengujian ke- (n)	Data Pengukuran Sensor MQ3 (ADC)	Perkiraan Kadar Alkohol (%)	Keterangan
1	759	74	Fermentasi Aktif
2	925	90	Fermentasi Aktif
3	985	96	Fermentasi Aktif
4	917	90	Fermentasi Aktif
5	41	0	Fermentasi Tidak Aktif

Pembahasan

Implementasi sistem menunjukkan hasil yang memuaskan dengan perolehan galat suhu < 1%, terbukti bahwa galat minimum pada sensor suhu sebesar 0% dan maksimum sebesar 0.44%. Sedangkan error pembacaan sensor pH <10%, didukung dengan perolehan galat minimum sebesar 2% dan maksimum sebesar 9.45%. Selain itu, sistem telah mampu mengindikasikan adanya kenaikan kadar alkohol pada larutan sebelum fermentasi berdasarkan nilai pembacaan kadar etanol menggunakan MQ3, yaitu sebesar 0% ketika awal pembentukan senyawa alkohol, yang kemudian naik secara signifikan sebagai indikasi bahwa proses fermentasi telah berjalan dan berhasil.

Berlanjut ke proses distilasi dengan indikator pemantauan dari tetes pertama proses distilasi terindikasi kadar alkohol mencapai 96%. Penerapan protokol komunikasi HTTP efektif dalam menangani *data logger* yang membutuhkan media penyimpanan dalam bentuk *cloud service* yang dapat diakses sewaktu-waktu dan dimana saja, karena konsep *edge computing* melakukan proses akuisisi dan pengolahan data secara langsung pada perangkat keras yang terpasang di lapangan. Sistem *monitoring* berbasis sensor secara otomatis memungkinkan proses fermentasi berlangsung dalam kondisi optimal dan terkendali, sehingga hasil produksi bioetanol yang dihasilkan lebih konsisten dan berkualitas. Tahap akhir dari tahapan pada metode pengembangan *waterfall* ini adalah melakukan *maintenance* atau perawatan dan jika memungkinkan untuk dilakukan pengembangan lebih lanjut.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diuraikan sebelumnya, rancang bangun sistem monitoring proses produksi bioetanol telah berhasil diimplementasikan dan diujikan menggunakan ESP8266 dan ESP32 SoC. Sistem monitoring mampu bekerja dengan baik dan memberikan performa yang memuaskan, dengan mengintegrasikan teknologi berbasis IoT pada proses fermentasi dan distilasi bioetanol yang membuka prosep pengembangan keilmuan dalam bidang otomatisasi industri bioenergi, khususnya dalam monitoring proses secara *real-time*. Sistem *monitoring* ini melakukan pengukuran terhadap suhu, pH dan kadar gas etanol dalam larutan senyawa pada proses produksi bioetanol. Pengolahan berbahan baku nabati (nira tebu) sebanyak 20 L per proses produksi, sistem mampu memberikan solusi terkait permasalahan pemantauan berkala serta mengurangi subjektivitas pengukuran data pemantauan.

Ketepatan dan efisiensi diperoleh dengan adanya alat ini, sehingga mengurangi pekerjaan manual manusia. Kebermanfaatan dari segi teknologi informasi dan rekayasa sistem tertanam (*embedded systems*) dalam pengembangan *system on chip low power* seperti ESP8288 dan ESP32 dikenal lebih efektif dan efisien untuk aplikasi IoT skala kecil dan menengah, terutama dari segi kehandalan dan alternatif yang ekonomis. Pengembangan sistem ini berfungsi secara aplikatif untuk keberlanjutan bioenergi presisi dalam skala

laboratorium, pendidikan vokasi, maupun industri kecil yang mengarah pada pengembangan *smart bioreactor*, *remote fermentation control* dan digitalisasi produksi energi terbarukan di masa depan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia, terutama Politeknik Negeri Jember, serta rekan-rekan dosen di Jurusan Teknik, Program Studi Teknik Energi Terbarukan dan Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika atas kolaborasi penelitian serta kontribusi atas terbitnya jurnal ini.

Referensi

- Adharani, N., & Wardhana, M. G. (2023). Formulasi Bioetanol Dari *Eucheuma Cottonii* Upaya Energi Terbaru Nelayan Sumberkencono Banyuwangi. *Jurnal Lemuru*, 5(1), 144-150.
- Afianah, N., Putri, S. L., Velani, M., & Ananta, T. D. (2024). Portable Smart System on Chip for Moisture Detection and Watering Melon Plants. *International Journal on Smart Material and Mechatronics*, 11(2), 295-298.
- Agustin, R. D. (2020). *Sistem monitoring suhu penyimpanan dan waktu Fermentasi pada kematangan tape ubi jalar Berbasis internet of things* (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Jember).
- Anggita, S., Sabar, K. R., Juliastuti, S. R., & Hendrianie, N. (2021). Pra-desain pabrik bioetanol dari jerami padi. *Jurnal Teknik ITS*, 10(2), B225-B230.
- Angraini, T., Susanti, R., Arifin, A., & Azriful, R. K. (2021). Sistem Monitoring Kenaikan Kadar Alkohol Pada Molasses Berbasis Mikrokontroler. *Prosiding SISFOTEK*, 5(1), 296-301.
- Bahriawan, F., Murtono, A., & Budi, E. S. (2024). Sistem Kendali Suhu Pada Proses Destilasi Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Pisang. *Metrotech (Journal of Mechanical and Electrical Technology)*, 3(1), 16-22.
- Bachtiar, S., Wahyuningtyas, R., & Sari, N. K. (2021). Bioetanol dari limbah cair tepung terigu dengan proses fermentasi menggunakan turbo yeast. *Jurnal Teknik Kimia*, 16(1), 29-34.
- Febriani, S. D. A., Susmiati, Y., Subagja, H., Afianah, N., & Faqih, A. (2025). Bioethanol Production with Semi Continue Fermentation Distillation Equipment using *Sacharomyces Cerevisiae*. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1446, No. 1, p. 012058). IOP Publishing.
- Hendraloka, R., Wicaksono, A., Sakti, A., Wicaksono, B., Gentina, G., Pratama, H., Mandiri, M., Permatasari, N. & Angraini, R. (2022). Resistensi Indonesia dalam Menghadapi Krisis Energi Dunia, Studi Kasus: Program Mandatori Biodiesel Minyak Kelapa Sawit Indonesia's Resistance in Facing The Global Energy Crisis, Case Study: The Mandatory Program Of Palm Oil Biodiesel. *Pros. Semin. Nas. BSKJI "Post Pandemic Econ. Recover*, 58-68.
- Monasari, R., Firdaus, A. H., & Qosim, N. (2021). Pengaruh Penambahan Zat Aditif Pada Campuran Bahan Bakar Bensin–Bioethanol Terhadap Specific Fuel Consumption. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 9(1), 1-10.
- Syaputra, A., & Sutabri, T. (2024). Perancangan Sistem Monitoring Barang Logistik Berbasis IoT. *Switch: Jurnal Sains dan Teknologi Informasi*, 2(5), 102-111.
- Muzayin, M. I., Suhendi, A., & Supriadi, D. (2023). Rancang Bangun Sistem Kontrol dan Monitoring pada Pilot Plant Proses Hidrolisis Bioethanol G2. *eProceedings of Engineering*, 10(5).

- Pranata, G., Setiawan, A. A., & Eddy, S. (2023). Studi Pemanfaatan Buah Nipah Sebagai Bahan Baku Pembuatan BIOETANOL. *Jurnal Redoks*, 8(1), 35-42.
- Purnama, D., Arif, A., Alwi, E., & Sugiarto, T. (2023). Analisis penggunaan bahan bakar campuran pertalite dengan bioetanol dari tebu terhadap konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang pada sepeda motor injeksi. *MSI Transaction on Education*, 4(3), 123-134.
- Rifa'i, A. F., Pamungkas, W. A., Setyawati, R. B., Setiawan, C. P., & Waluyo, J. (2022). Kajian teknoekonomi bioetanol berbahan molasses sebagai alternatif substitusi BBM. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 6(1), 57-68.
- Susmiati, Y. (2018). Prospek Produksi Bioetanol dari Limbah Pertanian dan Sampah Organik. *Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 7(2), 67-80.